

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ  
ИНСТИТУТ МЕТАЛЛУРГИИ И МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ  
им. А.А. БАЙКОВА РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК

**МЕТОДИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ ПО ДИСЦИПЛИНЕ**  
**ФИЗИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ РАДИАЦИОННОГО МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЯ**

Направление подготовки: 03.06.01 Физика и астрономия

Направленность подготовки: Физика конденсированного состояния

Одобрено на заседании  
Ученого совета ИМЕТ РАН  
09 февраля 2017 г.  
Протокол № 1/17

Москва 2017 год

Курс "Физические основы радиационного материаловедения" направлен на углубленное изучение физических основ взаимодействия различных видов излучений с твердым телом, развитие представлений о физической природе поглощения излучения веществом и механизмах образования радиационных дефектов в металлах и сплавах, изменения их структурного состояния, состава и свойств при облучении, изучение закономерностей и особенностей радиационной повреждаемости и модифицирования облучаемых объектов, а также применение аспирантами знаний по фундаментальным аспектам радиационной физики металлов в прикладных областях радиационного материаловедения

### **Вопросы для подготовки к собеседованиям по темам курса**

#### Собеседование 1. Контрольные вопросы:

1. Характеристика излучений (энергия, доза, поток).
2. Потенциал и энергия ионизации.
3. Радиоактивный распад, период полураспада.
4. Поглощение излучения твердым телом, упругое и неупругое взаимодействие.

#### Литература:

1. Иванов Л.И., Платов Ю.М. Радиационная физика металлов и ее приложения. М.: Интерконтакт Наука, 2002, 300с.
2. Вас Г.С. Основы радиационного материаловедения. Металлы и сплавы. Перевод с английского А.Г. Ланина / под редакцией Н.М. Власова, О.И. Челябиной. Москва, Техносфера, 2014, 992с. ISBN 978-5-94836-400-1
3. Федотов А.К. Физическое материаловедение. Часть 2. Фазовые превращения в металлах и сплавах [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Федотов А.К.— Электрон. текстовые данные.— Минск: Вышэйшая школа, 2012.— 446 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/21754>.— ЭБС «IPRbooks», по паролю

#### Собеседование 2. Контрольные вопросы:

1. Образование точечных радиационных дефектов.
2. Аннигиляция вакансий и междоузельных атомов.
3. Каскады атомных смещений.

#### Литература:

1. Иванов Л.И., Платов Ю.М. Радиационная физика металлов и ее приложения. М.: Интерконтакт Наука, 2002, 300с.
2. Вас Г.С. Основы радиационного материаловедения. Металлы и сплавы. Перевод с английского А.Г. Ланина / под редакцией Н.М. Власова, О.И. Челябиной. Москва, Техносфера, 2014, 992с. ISBN 978-5-94836-400-1
3. Калин Б.А., Скоров Д.М., Якушин В.Л. Проблемы выбора материалов для термоядерных реакторов. Радиационная эрозия. М.: Энергоатомиздат, 1985, 184 с.

#### Собеседование 3. Контрольные вопросы:

1. Взаимодействие радиационных дефектов с дислокациями как стоками междоузельных атомов и вакансий.

2. Радиационное ускорение процессов упорядочения, расслоения и распада твердых растворов.

Литература:

1. Бескоровайный Н.М., Калинин Б.А., Платонов П.А., Чернов И.И. Конструкционные материалы ядерных реакторов. Учебник для вузов -М.: Энергоатомиздат, 1995, 704с.
2. Конобеевский С.Т. Действие облучения на материалы. – М.: Атомиздат, 1967, 402с.
3. Федотов А.К. Физическое материаловедение. Часть 2. Фазовые превращения в металлах и сплавах [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Федотов А.К.— Электрон. текстовые данные.— Минск: Вышэйшая школа, 2012.— 446 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/21754>.— ЭБС «IPRbooks», по паролю
4. Фазовые превращения при облучении. Ред. Ф.В.Нолфи. Пер. с англ. - Челябинск: Металлургия, 1989, 312 с.
5. Ибрагимов Ш.Ш., Кирсанов В.В., Пятилетов Ю.С. Радиационные повреждения металлов и сплавов. – М.: Энергоатомиздат, 1985, 240 с.

Собеседование 4. Контрольные вопросы:

1. Поверхностные радиационные эффекты в твердых телах.
2. Влияние облучения на механические свойства.
3. Радиационное упрочнение и охрупчивание.

Литература:

1. Бескоровайный Н.М., Калинин Б.А., Платонов П.А., Чернов И.И. Конструкционные материалы ядерных реакторов. Учебник для вузов -М.: Энергоатомиздат, 1995, 704с.
2. Конобеевский С.Т. Действие облучения на материалы. – М.: Атомиздат, 1967, 402с.
3. Пименов В.Н., Масляев С.А., Демина Е.В., Ковтун А.В. и др. Взаимодействие мощных импульсных потоков энергии с поверхностью вольфрама в установке Плазменный Фокус. Физика и химия обработки материалов, 2008, №3, с.5-14.
4. Грибков В.А., Демина Е.В., Дубровский А.В., Иванов Л.И. и др. Воздействие импульсных потоков плотной дейтериевой и водородной плазмы на ферритные и аустенитные стали в установке плазменный фокус. Перспективные материалы, 2008, №1, с.16 – 25.
5. Иванов Л.И., Платов Ю.М. Радиационное упрочнение металлических материалов. Учебно-методическое пособие. Москва, Интерконтакт Наука, 1999, 32с.
6. Заболотный В.Т. Ионное перемешивание в твердых телах. Учебное пособие. Москва, Интерконтакт Наука, 1997, 62с.

Собеседование 5. Контрольные вопросы:

1. Магнитное и инерциальное удержание плазмы.
2. Установка токамак.
3. Установка Плазменный фокус.

Литература:

1. В.Н. Пименов, Е.В. Демина, С.А. Масляев, Л.И. Иванов, В.А. Грибков, А.В. Дубровский, А.В.Ковтун, Ю.Э. Угасте, М. Шольц, Б. Колман. Взаимодействие импульсных потоков ионов дейтерия и плотной плазмы с материалом трубы из малоактивируемой

- аустенитной стали в установке Плазменный фокус. Перспективные материалы, 2007, №2, 48 – 56.
2. Пименов В.Н., Масляев С.А., Демина Е.В., Ковтун А.В. и др. Взаимодействие мощных импульсных потоков энергии с поверхностью вольфрама в установке Плазменный Фокус. Физика и химия обработки материалов, 2008, №3, с.5-14.
  3. Грибков В.А., Демина Е.В., Дубровский А.В., Иванов Л.И. и др. Воздействие импульсных потоков плотной дейтериевой и водородной плазмы на ферритные и аустенитные стали в установке плазменный фокус. Перспективные материалы, 2008, №1, с.16 – 25.

#### Собеседование 6. Контрольные вопросы:

1. Радиационные эффекты в фуллеренах под действием ионизирующего излучения
2. Радиационные эффекты в графене под действием ионизирующего излучения

#### Литература:

1. Федотов А.К. Физическое материаловедение. Часть 3. Материалы энергетики и энергосбережения [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Федотов А.К., Анищик В.М., Тиванов М.С.— Электрон. текстовые данные.— Минск: Вышэйшая школа, 2015.— 464 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/48022>.— ЭБС «IPRbooks», по паролю
2. Бескорвайный Н.М., Калинин Б.А., Платонов П.А., Чернов И.И. Конструкционные материалы ядерных реакторов. Учебник для вузов -М.: Энергоатомиздат, 1995, 704с.
3. Конобеевский С.Т. Действие облучения на материалы. – М.: Атомиздат, 1967, 402с.
4. 16. Грибков В.А., Демина Е.В., Пименов В.Н., Дубровский А.В., Масляев С.А., Ермишкин В.А., Тунис К. Использование установок «Плазменный фокус» в испытаниях керамических материалов, перспективных для элементов внутренних стенок токамаков. XI-й Российско-Китайский Симпозиум «Новые технологии и материалы», Санкт-Петербург 10 – 14 октября, 2011 г. Перспективные материалы, 2011, №13 (специальный выпуск), 263-272.

#### **Самостоятельная работа по дисциплине «Физические основы радиационного материаловедения»**

Самостоятельная работа аспирантов проводится в форме изучения отдельных теоретических вопросов по предлагаемой литературе. Во время самостоятельной подготовки обучающиеся обеспечиваются доступом к сети Интернет, к не менее, чем одной электронной библиотеке, и доступом к электронным научным базам. Основные виды самостоятельной работы: в читальном зале библиотеки с доступом к ресурсам Интернет, в домашних условиях с доступом к ресурсам Интернет.

#### **Вопросы для подготовки к промежуточной аттестации – дифференцированному зачету**

1. Виды излучений. Характеристики, описывающие взаимодействие излучений с веществом.
2. Упругие и неупругие взаимодействия излучений с твердым телом. Парные столкновения. Общее уравнение движения частиц.
3. Удельные энергетические потери. Эффективные сечения упругих и неупругих взаимодействий.
4. Виды потенциалов ионно-атомного взаимодействия.
5. Кооперативные эффекты при рассеянии классических частиц. Эффект каналирования.
6. Действие облучения на материалы. Условия образования радиационных дефектов кристаллической решетки, их взаимодействие между собой и с атомами матрицы и растворенных в ней элементов.
7. Пороговая энергия образования пар Френкеля. Аннигиляция вакансий и междоузельных атомов.
8. Образование каскадов смещенных атомов. Виды каскадов.
9. Радиационно-индуцированные процессы при облучении металлов и сплавов. Радиационно-ускоренная диффузия, радиационно-индуцированная сегрегация примесей.
10. Взаимодействие радиационных дефектов с дислокациями как стоками междоузельных атомов и вакансий.
11. Радиационное ускорение процессов упорядочения, расслоения и распада твердых растворов.
12. Фазовая нестабильность, обусловленная динамическими эффектами при облучении и трансмутационными превращениями при ядерных реакциях.
13. Поверхностные радиационные эффекты в твердых телах.
14. Эрозия поверхностных слоев: распыление материалов, радиационный блистеринг (вспучивание, пузырение), повреждаемость при образовании униполярных дуг.
15. Механизмы изменения механических свойств материалов при облучении. Радиационное упрочнение и охрупчивание материалов.
16. Закономерности и механизмы радиационной ползучести материалов.
17. Механизмы повреждаемости материалов при воздействии мощных импульсных потоков энергии - ионов и высокотемпературной плазмы.
18. Механизмы повреждаемости материалов при воздействии лазерного излучения в режиме свободной генерации и модулированной добротности.
19. Модифицирование поверхностных слоев мощными импульсными радиационными потоками частиц и излучений - ионов, электронов, высокотемпературной плазмы, лазерного воздействия.
20. Магнитное и инерциальное удержание плазмы. Установка токамак.
21. Термоядерные установки: международный реактор ИТЕР и демонстрационный ДЕМО.
22. Установка Плазменный фокус. Имитация условий взаимодействия плазмы с поверхностью в термоядерном реакторе с использованием установки Плазменный фокус.

## Литература для подготовки по дисциплине «Физические основы радиационного материаловедения»

### Основная литература

1. Иванов Л.И., Платов Ю.М. Радиационная физика металлов и ее приложения. М.: Интерконтакт Наука, 2002, 300с.
2. Бескорвайный Н.М., Калинин Б.А., Платонов П.А., Чернов И.И. Конструкционные материалы ядерных реакторов. Учебник для вузов -М.: Энергоатомиздат, 1995, 704с.
3. Конобеевский С.Т. Действие облучения на материалы. – М.: Атомиздат, 1967, 402с.
4. Вас Г.С. Основы радиационного материаловедения. Металлы и сплавы. Перевод с английского А.Г. Ланина / под редакцией Н.М. Власова, О.И. Челябинской. Москва, Техносфера, 2014, 992с. ISBN 978-5-94836-400-1

### Электронные ресурсы:

1. Бутягин П.Ю. Химическая физика твердого тела [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Бутягин П.Ю.— Электрон. текстовые данные.— М.: Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, 2006.— 272 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/13047>.— ЭБС «IPRbooks», по паролю
2. Федотов А.К. Физическое материаловедение. Часть 2. Фазовые превращения в металлах и сплавах [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Федотов А.К.— Электрон. текстовые данные.— Минск: Вышэйшая школа, 2012.— 446 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/21754>.— ЭБС «IPRbooks», по паролю
3. Федотов А.К. Физическое материаловедение. Часть 3. Материалы энергетики и энергосбережения [Электронный ресурс]: учебное пособие/ Федотов А.К., Анищик В.М., Тиванов М.С.— Электрон. текстовые данные.— Минск: Вышэйшая школа, 2015.— 464 с.— Режим доступа: <http://www.iprbookshop.ru/48022>.— ЭБС «IPRbooks», по паролю

### Дополнительная литература

1. Фазовые превращения при облучении. Ред. Ф.В.Нолфи. Пер. с англ. - Челябинск: Metallurgy, 1989, 312 с.
2. Ибрагимов Ш.Ш., Кирсанов В.В., Пятилетов Ю.С. Радиационные повреждения металлов и сплавов. – М.: Энергоатомиздат, 1985, 240 с.
3. Фазовые превращения при облучении / Пер. под ред. Л.Н. Быстрова.– Челябинск: Metallurgy, 1989, 312 с.
4. Калинин Б.А., Скоров Д.М., Якушин В.Л. Проблемы выбора материалов для термоядерных реакторов. Радиационная эрозия. М.: Энергоатомиздат, 1985, 184 с.
5. Залужный А.Г., Сокурский Ю.Н., Тебус В.Н. Гелий в реакторных материалах. М.: Энергоатомиздат, 1988, 244с.
6. Иванов Л.И., Платов Ю.М. Радиационное упрочнение металлических материалов. Учебно-методическое пособие. Москва, Интерконтакт Наука, 1999, 32с.
7. Заболотный В.Т. Ионное перемешивание в твердых телах. Учебное пособие. Москва, Интерконтакт Наука, 1997, 62с.

8. Платов Ю.М. Малоактивируемые конструкционные материалы для реакторов термоядерного синтеза. Учебно-методическое пособие. Москва, Интерконтакт Наука, 1999, 25с.
9. Колотов В.П., Аленина М.В., Саватеев Н.Н., Демина Е.В. Активация конструкционных материалов при эксплуатации атомных и термоядерных установок. Учебное пособие. Москва, Интерконтакт Наука, 1997, 40с.
10. Иванова В.С. Синергетика и фракталы в радиационном материаловедении. Учебное пособие. Москва, Интерконтакт Наука, 1997, 53с.
11. Л. И Иванов., В.Н. Пименов, В.А. Грибков. Взаимодействие мощных импульсных потоков энергии с материалами. Физика и химия обработки материалов, 2009, №1, с.23-37.
12. В.Н. Пименов, Е.В. Демина, С.А. Масляев, Л.И. Иванов, В.А. Грибков, А.В. Дубровский, А.В.Ковтун, Ю.Э. Угасте, М. Шольц, Б. Колман. Взаимодействие импульсных потоков ионов дейтерия и плотной плазмы с материалом трубы из малоактивируемой аустенитной стали в установке Плазменный фокус. Перспективные материалы, 2007, №2, 48 – 56.
13. Демина Е.В., Иванов Л.И., Масляев С.А. Пименов В.Н., Сасиновская И.П., Грибков В.А., Дубровский А.В. Модифицирование поверхностных слоев стальных труб импульсными потоками ионов и высокотемпературной плазмы. Перспективные материалы, 2008, №5, с. 1 - 8.
14. Пименов В.Н., Масляев С.А., Демина Е.В., Ковтун А.В. и др. Взаимодействие мощных импульсных потоков энергии с поверхностью вольфрама в установке Плазменный Фокус. Физика и химия обработки материалов, 2008, №3, с.5-14.
15. Грибков В.А., Демина Е.В., Дубровский А.В., Иванов Л.И. и др. Воздействие импульсных потоков плотной дейтериевой и водородной плазмы на ферритные и аустенитные стали в установке плазменный фокус. Перспективные материалы, 2008, №1, с.16 – 25.
16. Грибков В.А., Демина Е.В., Пименов В.Н., Дубровский А.В., Масляев С.А., Ермишкин В.А., Тунис К. Использование установок «Плазменный фокус» в испытаниях керамических материалов, перспективных для элементов внутренних стенок токамаков. XI-й Российско-Китайский Симпозиум «Новые технологии и материалы», Санкт-Петербург 10 – 14 октября, 2011 г. Перспективные материалы, 2011, №13 (специальный выпуск), 263-272.

#### **Электронные ресурсы:**

1. <http://www.elibrary.ru> — Научная электронная библиотека eLIBRARY.RU,
2. Электронная библиотека IPRbooks.

Методические материалы разработал

Доктор физико-математических наук

А.Б. Цепелев